

文章编号: 1001—1749(2009)05—0494—06

瞬时极化滤波在波场分离中的应用

单 波¹, 张玉芬²

(1. 西北电力设计院, 西安 710032;

2. 中国地质大学 地球物理与空间信息学院, 武汉 430074)

摘 要: 多波多分量勘探技术已逐渐成熟, 波场分离作为提取有效信息的处理环节, 也变得愈发重要。这里通过复地震道等方法构建了瞬时极化滤波器, 提供了极化滤波器构建的瞬时途径, 并有效地压制了该方法带来的噪音影响, 在滤波速度上也得到了显著提高。

关键词: 极化滤波; 复地震道; 瞬时滤波器

中图分类号: P 631.3*24 **文献标识码:** A

0 前言

在目前地震勘探中, 多波多分量技术发展日益成熟。作为分离多波资料, 提取有效信息的重要手段, 波场分离已经成为处理流程中不可缺少的一个环节, 而极化滤波通过利用地震资料动力学信息的方法能够对波场进行有效的分离。

国内、外的许多学者^[1-9], 都对极化滤波进行了较为深入的研究, 大部份的研究是方向滤波。一般事先给出极化参数的定义, 如方位角, 线性度, 椭圆度等, 当满足某个范围时就通过, 在范围之外就剔除。这些参数不仅可以在时间域^[10]内使用, 也可以在频率域(Samson, 1983; Park, 1987; 等)使用, 还有些方法是时频混合方法(Jurkevics, 1988; 等)。

作者在本文通过复地震道等方法构建瞬时极化滤波器, 并利用求和平均去除噪音影响, 在达到瞬时滤波的目的同时, 该方法也较大地提高了计算速度, 降低了计算时间。

1 极化参数的求取

对一个实地震道信号 $r(t)$, 其复地震道形式可以表示成如下形式

$$c(t) = r(t) + iq(t) \quad (1)$$

其中 $r(t)$ 是实地震信号; i 是虚数单位; $q(t)$ 是 $r(t)$ 的希尔伯特变换。 $q(t)$ 相对于 $r(t)$ 振幅没有变, 但相位发生了 90° 相移。

对于多分量地震数据, 我们仍然可以采用式(1)的形式, 只是 $c(t)$ 、 $r(t)$ 和 $q(t)$ 均为矢量形式, $r(t)$ 和 $q(t)$ 的关系并不改变。

对于二分量 x, z 数据, 可以通过 $\varphi_x(t)$ 和 $\varphi_z(t)$ 来求取二分量之间的相位差

$$\Delta\varphi(t) = \varphi_z(t) - \varphi_x(t)$$

或者采用公式(2)

$$\Delta\varphi(t) = \arctan\left[\frac{r_x q_z - r_z q_x}{r_z r_x + q_z q_x}\right] \quad (2)$$

通过二分量的实部和虚部以及相位差 $\Delta\varphi(t)$, 根据 Born^[8]等人给出的公式, 我们可以求得波形极化的长轴短轴:

$$a^2(t) = \{S_0(t) + [S_1^2(t) + S_2^2(t)]^{\frac{1}{2}}\} / 2$$

$$b^2(t) = \{S_0(t) - [S_1^2(t) + S_2^2(t)]^{\frac{1}{2}}\} / 2$$

其中 S_0 、 S_1 和 S_2 分别为

$$S_0(t) = A_z^2(t) + A_x^2(t)$$

$$S_1(t) = A_z^2(t) - A_x^2(t)$$

$$S_2(t) = 2A_z(t)A_x(t)\cos[\Delta\varphi(t)]$$

由于 a 和 b 是通过瞬时方法求得的, 所以我们称为瞬时长短轴, 椭圆率可以表示为

$$\varepsilon(t) = \frac{b(t)}{a(t)} \tag{3}$$

同时,也可以定义椭圆主轴瞬时倾角为

$$\theta(t) = \frac{\{\arctan[\frac{S_2(t)}{S_1(t)}]\}}{2} \tag{4}$$

2 瞬时极化滤波

原信号如图 1 所示,信号由 2 Hz 雷克子波构建,采样间隔 10 ms,信号长度 15 s。椭圆极化通过改变子波相位(相位改变 90°)得到,线性极化仅通过改变振幅得到。三个波形依次表示线性极化(大致模拟 P 波极化),线性极化(大致模拟 S 波极化)和椭圆极化(瑞雷面波)

对同样的信号(见图 1),我们分别用瞬时方法

和奇异值方法构建滤波函数:
 $G_1(t) = \exp(-(\varepsilon(t) - \varepsilon_0)^2/2\beta_\varepsilon^2)$
其中 $\varepsilon(t)$ 是滤波计算所得椭圆率; ε_0 是滤波所期望的椭圆率(取 0 为保留线性极化,剔除椭圆极化,取 1 为保留椭圆极化,剔除线性极化); β_ε 是一个时窗内 ε 的标准差。

如果保留线性极化,所得 $G_1(t)$ 曲线如图 2 所示,图 2(a)为瞬时方法求得曲线,图 2(b)为 SVD 方法求得曲线。由图 2 可以看出,瞬时方法在完成 $G_1(t)$ 滤波函数的功能,即剔除椭圆极化的效果明显,但由于瞬时方法对噪音非常敏感,所以容易被噪音干扰,而利用 $G_1(t)$ 函数基本没有去噪能力。

同样,对同样的信号(见图 1),我们分别用瞬时方法和奇异值方法构建滤波函数:

$$G_2(t) = \exp(-\Delta\theta(t)^2/2\sigma_\theta^2)$$

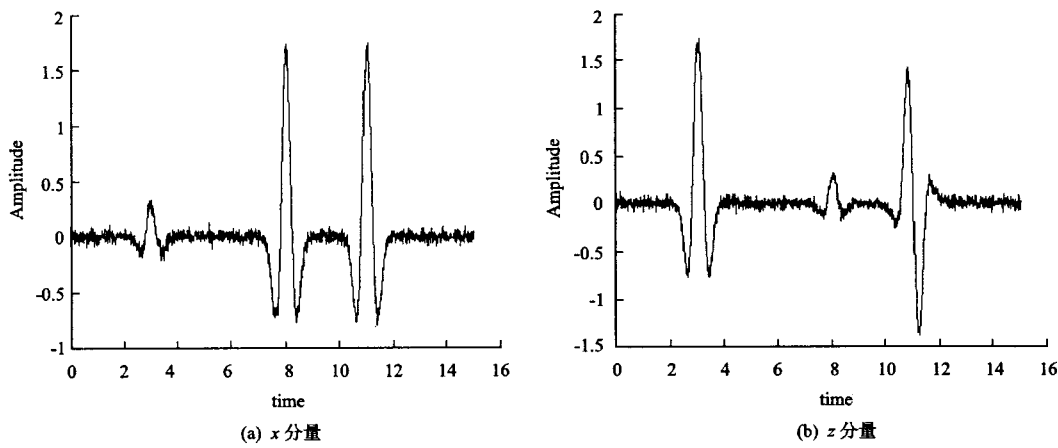


图 1 原信号
Fig. 1 Original signal

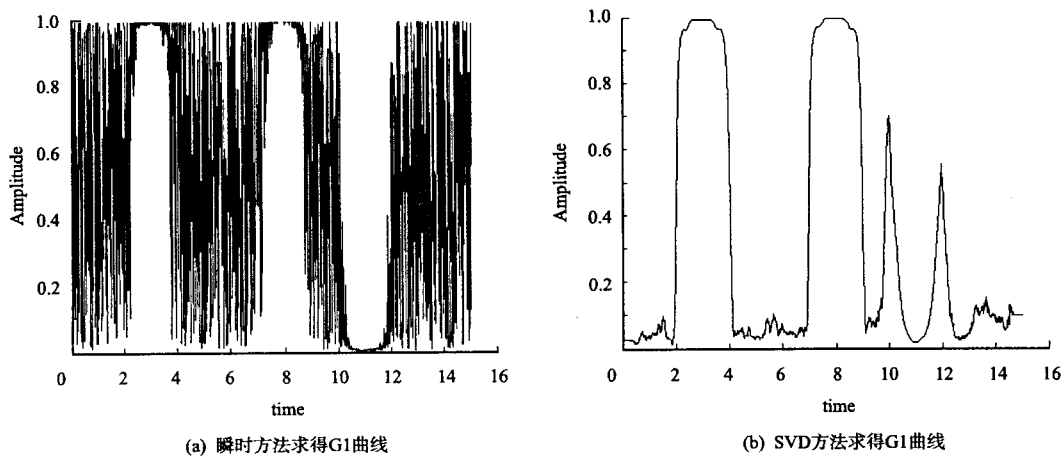


图 2 瞬时方法与 SVD 求取 $G_1(t)$ 对比
Fig. 2 Comparison of instantaneous and SVD filter on $G_1(t)$

其中 $\Delta\theta(t)$ 是信号的极化方向与所期望的滤波方向(期望获得信号的大致极化方向)之间的夹角; σ_θ 为一个时窗内 θ 的标准差。

如果滤波方向取 x 方向,得到 $G_2(t)$ 曲线如图 3 所示。图 3(a)为瞬时方法求得曲线,图 3(b)为 SVD 方法求得曲线,由图 3 可以看出,二种方法在完成 $G_2(t)$ 滤波函数的功能,即保留沿 x 方向线性极化,剔除沿 z 方向线性极化的效果均明显,但同样由于瞬时方法对噪声非常敏感,所以容易被噪声干扰。因此,利用瞬时方法单独求取滤波函数 $G_1(t)$ 和 $G_2(t)$,整体效果不太理想。

3 瞬时极化滤波改进方法

由于瞬时方法求得长短轴 a 和 b 对噪声非常

敏感,构建的滤波函数 $G_1(t) = \exp(-(\varepsilon(t) - \varepsilon_0)^2/2\beta_\varepsilon^2)$ 和 $G_2(t) = \exp(-\Delta\theta(t)^2/2\sigma_\theta^2)$ 受噪音影响很大,也容易变的不稳定,最终滤波效果不能达到预期效果。

鉴于上述原因,我们可以采用公式(5)进行处理,消除噪音的影响:

$$c(t) = \left[\frac{1}{T+1} \sum_{\tau=t-T/2}^{t+T/2} |a(\tau)|^{v1} \right]^{v2} \quad (5)$$

其中 $T+1$ 表示有 $T+1$ 个采样点的时窗,通过求和平均的处理,可以降低噪音的影响; $v1$ 和 $v2$ 是控制调节参数,为简单起见,一般取 $v1 = v2$ 。

我们采用和上面一样的原始信号(见图 1),经过公式(5)($v1 = 1, v2 = 1$)处理的长短轴和原始的长短轴分别如图 4 所示。在图 4 中,点曲线为原始长短轴,实曲线为求和平均处理后的曲线,图 4

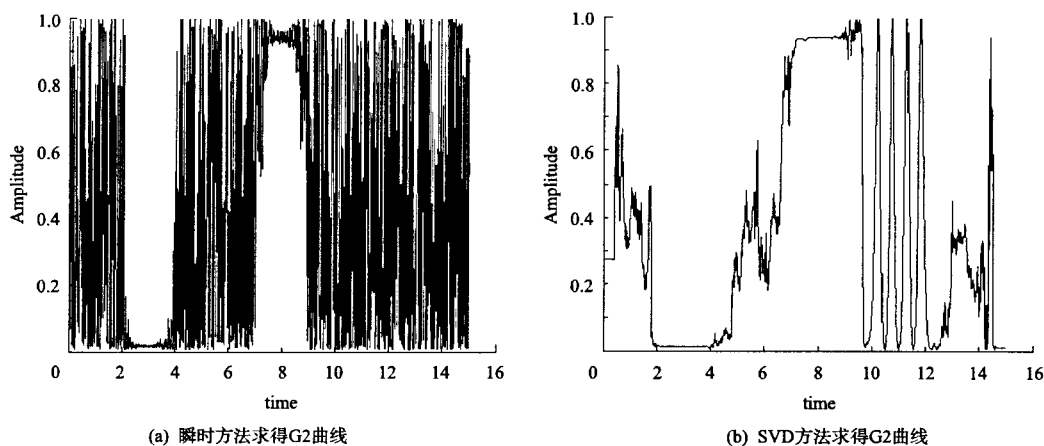


图 3 瞬时方法与 SVD 求取 $G_2(t)$ 对比

Fig. 3 Comparison of instantaneous and SVD filter on $G_2(t)$

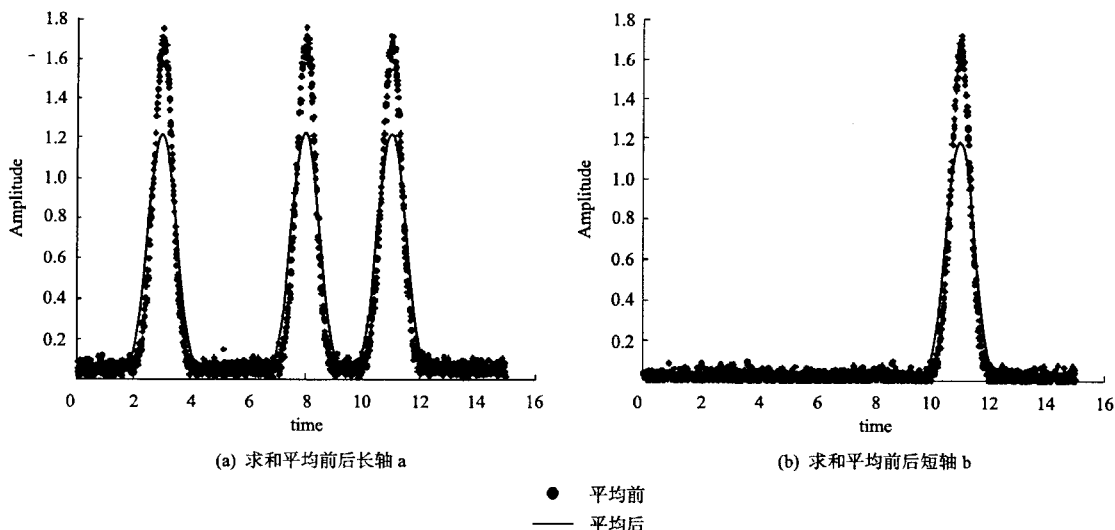


图 4 长短轴求和平均处理前、后对比

Fig. 4 Comparison of before and after averaging sum of long axis and short axis

(a)为长轴,图 4(b)为短轴。由图 4 可以看到,经处理过后曲线圆滑了很多,没有毛刺,虽然振幅有所下降,但对滤波结果没有实质影响。

我们采用处理过的长短轴 a 和 b ,构建滤波函数 $G_1(t) = \exp(-(\varepsilon(t) - \varepsilon_0)^2/2\beta_\varepsilon^2)$,然后将 $G_1(t)$ 进行再一次求和平均 ($v1 = 1, v2 = 1$) 处理,可以得到图 5。图 5(a)为处理前 $G_1(t)$ 曲线,图 5(b)为处理后 $G_1(t)$ 曲线,可以看到曲线变的圆滑,在达到剔除椭圆极化,保留线性极化的同时,又压制了噪音干扰,效果比较明显。

同样,我们可以将公式(5) ($v1 = 1, v2 = 1$) 应用到瞬时方位角的求取上,效果见图 6。图 6(a)为原始方位角曲线,图 6(b)为求和平均后的方位角曲线,可以明显看到处理过后曲线圆滑了很

多。

同样,我们可以采用处理过的方位角,构建滤波函数 $G_2(t) = \exp(-\Delta\theta(t)^2/2\sigma_\theta^2)$ (滤波方向取 x 方向),然后将 $G_2(t)$ 再一次求和平均 ($v1 = 1, v2 = 1$) 处理,可以得到图 7(见下页)。图 7(a)为处理前 $G_2(t)$ 曲线,图 7(b)为处理后 $G_2(t)$ 曲线,可以看到曲线变得圆滑,在达到剔除沿 z 方向极化,保留 x 方向极化的同时,又压制了噪音干扰,效果比较明显。

经过讨论可以看到,通过瞬时方法可以较好地求取椭圆长短轴和方位角,可以构建滤波函数 $G_1(t) = \exp(-(\varepsilon(t) - \varepsilon_0)^2/2\beta_\varepsilon^2)$ 和滤波函数 $G_2(t) = \exp(-\Delta\theta(t)^2/2\sigma_\theta^2)$ 。通过求和平均公式 $c(t)$ 的使用,可以有效改进椭圆长短轴和方位

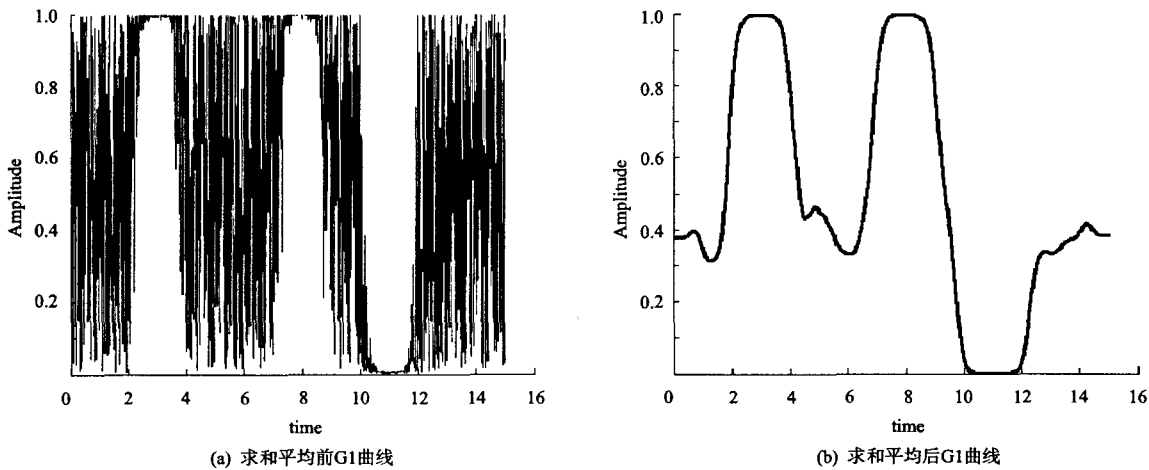


图 5 $G_1(t)$ 曲线求和平均处理前、后对比
Fig. 5 Comparison of $G_1(t)$ and averaged $G_1(t)$

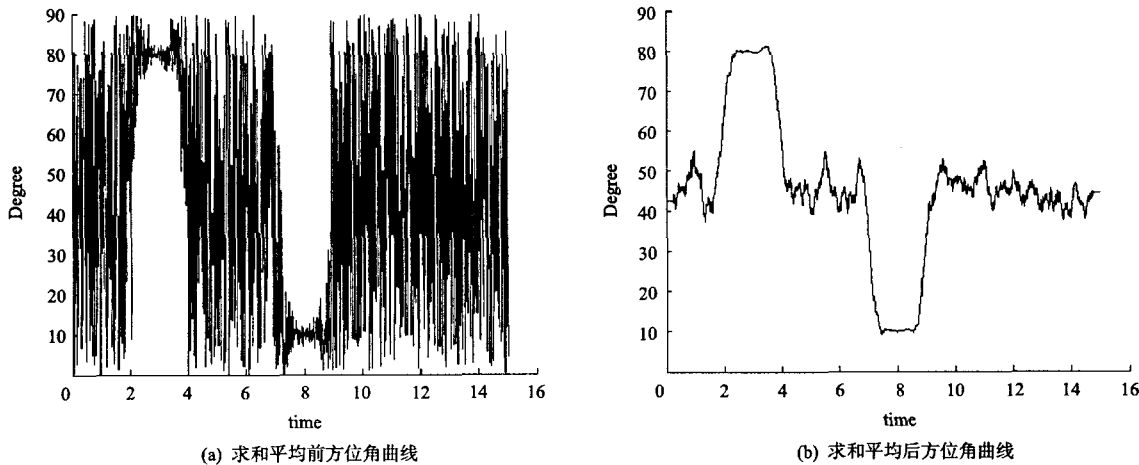


图 6 瞬时方位角曲线求和平均处理前、后对比
Fig. 6 Comparison of before and after averaging sum of azimuth

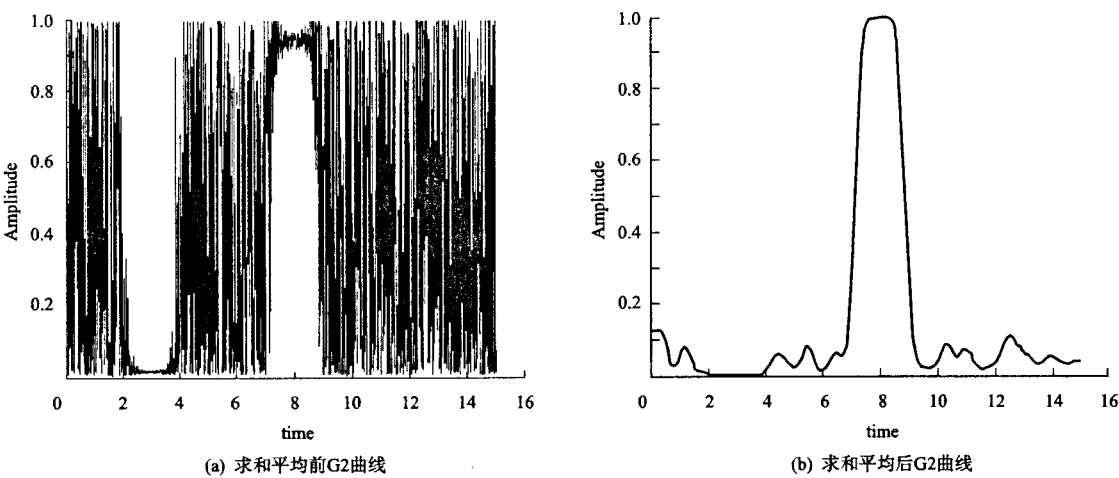


图 7 瞬时 $G_2(t)$ 曲线求和平均处理前、后对比
Fig. 7 Comparison of $G_2(t)$ and averaged $G_2(t)$

角,得到更为有效的滤波函数,以达到压制噪音的目的。

4 模拟记录应用

根据有限差分方法进行波场模拟,得到理论数据,参数如图 8 所示,数据共有 180 道,采样间隔为 0.3 ms,每道采样点为 2 001 个,道间距为 1 m。

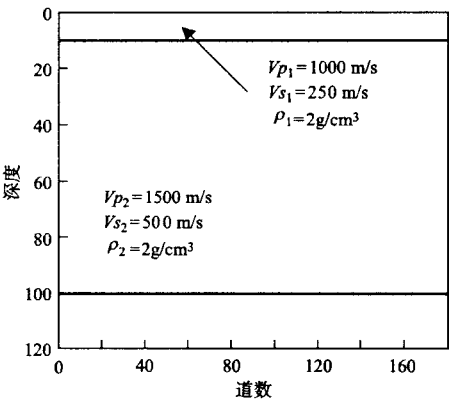


图 8 模型参数
Fig. 8 Parameters of the model

原始 X 分量数据如图 9 所示。从图 9 中可以看到,由于面波频散,存在大量面波成份,采用滤波函数 $G_1(t)$ 对面波剔除后如图 10 所示。可以看到,面波频散大部份都被剔除。

如果对面波进行保留,可以得到图 11 (见下页),面波成份基本被保留。

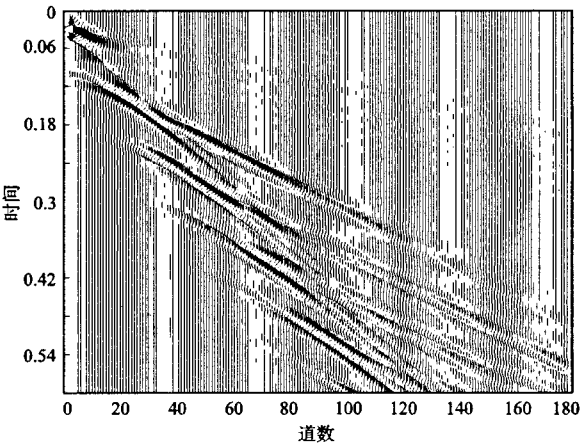


图 9 x 分量
Fig. 9 Original x component

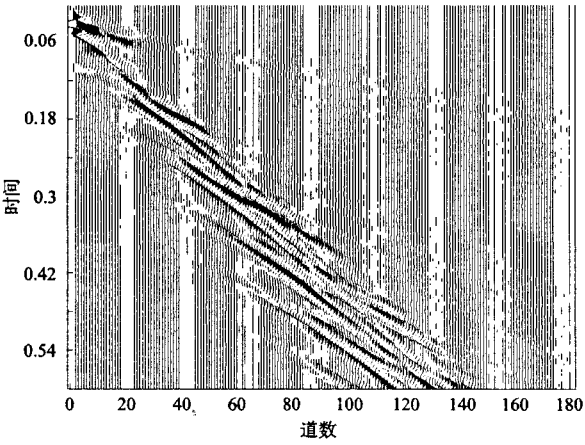
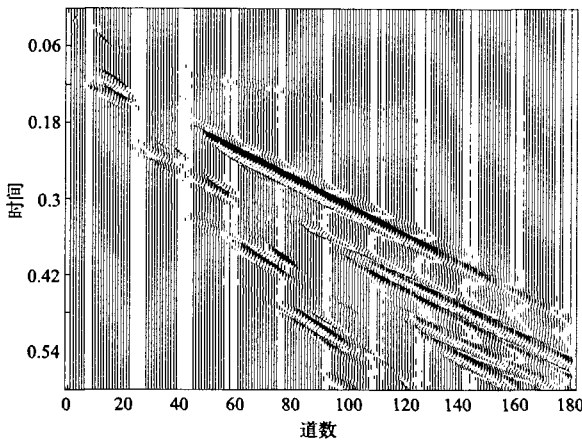


图 10 滤波后 x 分量
Fig. 10 X component after filtering

图 11 保留面波的 x 分量Fig. 11 Surface wave kept in x component

5 结语

(1) 在二维情况下, 通过复地震道方法, 可以较准确地求取极化椭圆长短轴, 由此得到椭圆率, 并根据滤波函数 $G_1(t) = \exp(-(\varepsilon(t) - \varepsilon_0)^2 / 2\beta_\varepsilon^2)$ 和 $G_2(t) = \exp(-\Delta\theta(t)^2 / 2\sigma_\theta^2)$ 构建瞬时极化滤波器, 通过求和平均, 可以有效压制噪声的影响。

(2) 利用奇异值方法时, 在每个时窗内的计算, 都要对窗内数据矩阵的奇异值进行求取, 这将花费大量的计算时间。相对而言, 瞬时方法只利用复地震道方法, 构建了滤波器, 计算量大为降低, 因此计算速度能够得到显著的提高。

经过理论验证可以看出, 瞬时极化滤波方法分离效果良好, 能在一定程度上满足分离的需要。

参考文献:

[1] BENHAMA A, CLIET C, DUBESSET M. Study and ap-

plication of spatial directional filtering in three-component recordings[J]. *Geophysics Prospecting*, 1988, 36: 59.

[2] FRANCO R D, MUSACCHIO G. Polarization filter with singular value decomposition[J]. *Geophysics*, 2001, 66: 932.

[3] LILLY J M, PARK J. Multiwavelet spectral and polarization analyses of seismic records[J]. *Geophysical Journal International*, 1995, 122: 1001.

[4] PERELBERG A I, HORNOSTEL S C. Applications of seismic polarization analysis[J]. *Geophysics*, 1994, 59: 119.

[5] SCHIMMEL M, GALLART J. The use of instantaneous polarization attributes for seismic signal detection and image enhancement[J]. *Geophysical Journal International*, 2003, 155: 653.

[6] SCHIMMEL M, GALLART J. Degree of polarization filter for frequency-dependent signal enhancement through noise suppression[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2004, 94: 1016.

[7] 黄中玉, 高林, 徐亦鸣, 等. 三分量数据的偏振分析及其应用[J]. *石油物探*, 1996, 35(2): 9.

[8] 罗省贤, 李录明. F-K 域多波变速波场分离[J]. *物探化探计算技术*, 1999, 21(2): 126.

[9] 张玉芬, 周建新. 影响空间方向滤波效果的因素分析[J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(3): 212.

[10] VIDALE J E. Complex polarization analysis of particle motion[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1986, 76: 1393.

[11] BORN M, WOLF E. *Principles of optics*[M]. Pergamon Press, 1959.

作者简介: 单波(1982-), 男, 硕士, 现在西北电力设计院从事工程物探。